

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕРМО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШТАМПОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

О. Б. Деменок, А. А. Ганеев, А. О. Деменок

Уфимский государственный авиационный технический университет,
г. Уфа, Россия

Выполненные в последние годы исследования показали значительные преимущества технологии получения нагруженных деталей газотурбинных двигателей (ГТД) деформированием в режиме сверхпластичности (СП) по сравнению с традиционными методами горячей штамповки. Однако внедрение этого прогрессивного процесса в производство, например при изготовлении лопаток компрессора из титановых сплавов или дисков турбин из легированной стали, существенно тормозится из-за отсутствия материалов оснастки, способных длительное время сохранять работоспособность при температурах 950–1050 °С и нагрузках 200–400 МПа.

Распространенные в промышленности жаропрочные никелевые сплавы ЖС-6У и ЖС-6К для штамповой оснастки, используемой при изотермической штамповке (ИЗШ) и деформировании в режиме СП, имеют предел длительной прочности при 975 °С не более 180 и 220, а при 1000 °С – 150 и 175 МПа соответственно. Износ при 975 °С и нагрузке 200 МПа составляет для ЖС-6К – $140 \cdot 10^{-4}$ г, ЖС-6У – $110 \cdot 10^{-4}$ г.

Достигнутый уровень свойств никелевых жаропрочных сплавов не отвечает в полной мере условиям эксплуатации штампов и не позволяет обеспечить требуемый ресурс их работы. Стойкость оснастки при ИЗШ составляет в настоящее время не более 350–400 штамповок на комплект.

Между тем, возможности улучшения термо-механических характеристик указанных материалов за счет дальнейшего легирования практически исчерпаны, поэтому актуален поиск и разработка новых жаропрочных и износостойких сплавов для деформирующего инструмента.

Практическое применение процесса высокотемпературного изотермического деформирования металлов с помощью инструмента, нагреваемого до температуры 700–1000 °С, вызвало необходимость решения принципиально новых проблем: изыскания штамповых материалов, способных работать в условиях длительного нагрева при высоких

температурах и нагрузках.

В связи с этим можно указать на следующие основные условия эксплуатации штампового инструмента:

1. Высокий разогрев, вследствие длительного контакта с заготовкой, когда поверхностные слои рабочих частей штампов разогреваются до 800–1000 °С.

2. Циклическое температурно-силовое воздействие. В теле штампа возникает сложно-напряженное состояние в результате наложения термических напряжений и напряжений, вызванных сопротивлением деформируемого материала.

3. Высокое давление на инструмент. Кроме того, циклический температурно-силовой режим работы инструмента вызывает изменение свойств участков гравюры, прилегающих к рабочим поверхностям.

Основные виды повреждений штампового инструмента определяются температурно-силовым воздействием, а также вызванными им структурными изменениями приконтактных участков материала штампа.

Основные повреждения гравюры штампов, работающих при горячей штамповке, можно классифицировать следующими видами:

1. Износ участков гравюры, приводящий к изменению размеров штамповой полости вследствие удаления с ее поверхности слоя металла. Выделяют следующие виды износа: абразивный, адгезионный, окислительный.

2. Пластическая деформация (смятие) элементов гравюры, приводящая к изменению ее размеров и формы, которая во многом определяется разупрочнением приконтактных участков материала штампов.

3. Возникновение трещин термомеханического характера, приводящее к образованию сетки разгара, объясняющееся значительным градиентом температур по сечению инструмента.

4. Возникновение усталостных трещин, в результате воздействия циклических механических нагрузок.

На основании вышеприведенных особенностей и условий эксплуатации штампо-

вого инструмента, можно сформулировать ряд основных требований, которым должен отвечать материал для изготовления штамповой оснастки:

1. прочность (предел текучести) – для сохранения формы штампа при повышенных давлениях;

2. вязкость – для предупреждения поломок и выкрашивания;

3. разгаростойкость (сопротивление термической усталости) – для предупреждения трещин, возникающих при многократном чередовании нагрева и охлаждения;

4. износостойкость – для сохранения размеров гравюры и обеспечения долговечности работы штампа;

5. жаростойкость (сопротивление коррозии) – необходима при повышенных рабочих температурах для уменьшения окислительного износа гравюры штампа;

6. теплопроводность – для лучшего отвода тепла, передаваемого деформируемой заготовкой;

7. малая чувствительность к местным нагревам – для предупреждения локальных перегревов;

8. горячая твердость – для обеспечения устойчивости материала против истирания при высоких температурах.

Таким образом, штамповые материалы должны обладать комплексом физико-механических свойств, обеспечивающих штамповку труднодеформируемых материалов.

Условия эксплуатации штампа, обусловленные режимом сверхпластического деформирования заготовки, от традиционных методов штамповки отличается рядом особенностей:

1. штамповка производится в изотермических условиях при рабочих температурах 950 °С;

2. процесс деформирования происходит при пониженных скоростях 0,05–0,1 м/сек, что обуславливает длительное время контакта заготовки с инструментом (до двух минут за один цикл штамповки);

3. удельная нагрузка при штамповке составляет не более 400 МПа.

Эти особенности вызывают и особый характер взаимодействия контактных поверхностей. В зоне стыка трущихся пар (триад) имеет место пластический или вязкопластический контакт. Причем длительный, от одной до нескольких минут, контакт между штампом и заготовкой, при действии высоких изотермических температур и давлений, резко активизирует процессы ползучести, адге-

зии и окисления, что в совокупности приводит к следующим преобладающим видам интенсивного износа инструмента: адгезионно-механическому износу и пластической деформации гравюры. Так согласно исследованиям, до 70–80 % штампов нельзя использовать вследствие адгезионного износа и смятия гравюры.

Свойства, оказывающие влияние на износ, определяют виды испытаний, необходимых для оценки износа штамповых материалов. При ИЗШ, основными требованиями, предъявляемыми к штамповым материалам, следует считать высокотемпературную прочность, жаропрочность, жаростойкость, горячую твердость и износостойкость. Конфигурация, размеры и схемы нагружения образцов для различных видов испытаний выбираются из условия максимального соответствия режимам эксплуатации штампа.

Влияние, на износ инструмента, показателей основных свойств гравюры штампа, исходя из большого объема экспериментальных данных, является довольно трудоемкой задачей. Поэтому моделирование основных, наиболее характерных воздействий определяющих износ гравюры штампов на несложном лабораторном оборудовании, представляет большой практический и теоретический интерес.

Поэтому штамповые материалы для изотермического деформирования и режима сверхпластичности должны быть: жаропрочными, износостойкими и жаростойкими. Обладать высокой горячей твердостью.

В работе использован новый подход к проблеме прогнозирования свойств и синтеза новых дисперсно-упрочненных износостойких сплавов. Он опирается на критериальный выбор дисперсных упрочнителей и применение методов физического металловедения с использованием ЭВМ. Результатом работы стало создание методики синтеза дисперсно-упрочненных сплавов жидкофазным методом.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

— сделан выбор оптимального легирующего ряда и легирующего комплекса для износостойкого сплава на основе законов физического металловедения;

— разработаны критерии выбора тугоплавких дисперсных соединений для упрочнения штамповых сплавов;

— создан банк данных тугоплавких дисперсных соединений (ТДС) на естественном языке;

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕРМО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШТАМПОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

— разработана структура базы данных и алгоритм информационно-поисковой системы (ИПС) по ТДС;

— оптимизирован состав штампового сплава с использованием ЭВМ и пакета прикладных программ.

Экспериментально исследованы механические и литейные свойства синтезированного сплава.

Оценки показывают, что использование разработанной комплексной методики синтеза дисперсно-упрочненных материалов позволяет по сравнению с базовыми методами

синтеза сплавов:

— в 5–6 раз сократить сроки разработки новых сплавов;

— снизить в 40–50 раз трудозатраты на разработку;

— сэкономить в 15–20 раз дефицитные и дорогостоящие материалы.

Разработан износостойкий, дисперсно-упрочненный сплав на основе никеля для работы в режиме ИЗШ и сверхпластичности, имеющий более высокие показатели по износостойкости, жаростойкости и жаропрочности, чем лучший промышленный сплав ЖС-6У.